Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 85-100

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۰-۸۵

تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی روی و منگنز بر عملکرد و صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.)

قربان خدابین[۱]، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی[۲*]، امیر حسین شیرانی‌راد[۳]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۴]، اسماعیل بخشنده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

چکیده

بررسی واکنش ارقام مختلف کلزا به عوامل محیطی یکی از اصول اساسی برنامه‌ریزی کشور برای حصول حداکثر عملکرد کمی و کیفی است. کم‌آبی و عدم تغذیه مناسب از جمله عواملی هستند که با تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه بر عملکرد محصولات زراعی تأثیر می‌گذارد. به‌منظور بررسی واکنش ۳ رقم کلزا در شرایط قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی، بر خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپیلیت در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی، محلول‌پاشی در چهار سطح با آب، غلظت چهار در هزار سولفات روی، غلظت چهار در هزار سولفات منگنز و محلول‌پاشی هم‌زمان سولفات روی و سولفات منگنز با غلظت چهار در هزار در مرحله ۵۰٪ ساقه‌دهی و رقم در سه سطح رقم نیما به‌عنوان رقم شاهد و لاین‌های امیدبخش R15 و KS7 بودند. بیشترین میزان عملکرد روغن (۱۷۲۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزاردانه (۳/۲۱ گرم)، عملکرد زیستی (۱۵۶۷۵ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۰/۹۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) مربوط به اثر اصلی تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر بود. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری عادی، بیشترین عملکرد دانه (۵۱۶۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد روغن (۲۲۴۴ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب در لاین R15 و در شرایط قطع آبیاری در رقم نیما به‌دست آمد. در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر باعث افزایش صفات مورد بررسی شد. اما در شرایط قطع آبیاری تنها ارتفاع بوته و درصد روغن تحت تأثیر محلول‌پاشی افزایش پیدا کرد. در شرایط آبیاری کامل لاین R15 رقم برتر بود، اما در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین عملکرد و اجزای آن را دارا بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد و اجزای عملکرد، عناصر ریزمغذی، کارایی مصرف آب

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از جمله گیاهان زراعی می‌باشد که جهت استخراج روغن مورد کشت و کار قرار می‌گیرد و پس از سویا و نخل روغنی در جایگاه سوم تولید قرار دارد (El-Din *et al*., 2010). ارقام پاییزه‌ی کلزا می‌تواند مانند سایر گیاهان زمستانه از بارندگی فصلی استفاده نموده و به این علت جانشین مناسبی برای سایر دانه‌های روغنی نظیر سویا و آفتاب‌گردان هستند (Rameeh, 2014). با رعایت اصول به‌زراعی و به‌نژادی، عملکرد کلزا را می‌توان بهبود بخشید. بدین منظور، با معرفی ارقام دارای عملکرد بالاتر می‌توان از حداکثر ظرفیت ژنتیکی ارقام موجود نیز در شرایط آب و هوایی مختلف استفاده نمود (Sieling *et al*., 2017).

کمبود رطوبت سبب کوتاه شدن عمر گیاه کلزا و کاهش تولید ماده خشک و بازدهی محصول می‌شود. تحقیقات نشان داده است که در اثر قطع آبیاری از مرحله ساقه‌رفتن تا گل‌دهی کپسول‌های نارس کلزا در اثر خشکی خاک به زمین می‌ریزند، نقل و انتقال مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه متوقف می‌شود و درنتیجه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Khan *et al*., 2010). حساس‌ترین مرحله رشد و نمو کلزا به کمبود آب، مرحله گل‌دهی است. کمبود آب در این مرحله سبب افت شدید تعداد گل، کپسول و دانه شده و وزن هزار دانه و میزان روغن دانه را کاهش می‌دهد. تنش کم آبی باعث می‌شود که گیاه در شرایط نامساعد محیطی به گل رفته و در اثر گرما، تعدادی از گل‌ها عقیم مانده و ریزش کنند. همچنین چون گیاه در اثر بالا بودن دمای محیط در مدت زمان کمتری نیاز حرارتی خود را تأمین می‌کند طول دوره گلدهی گیاه کوتاه شده و پتانسیل تولید غلاف کاهش می‌یابد (Sepehri and Golparvar, 2011).

تأثیر منفی تنش خشکی به‌ویژه طی مرحله گلدهی، تشکیل و پر شدن دانه مهم است. کمبود آب خاک در هر مرحله‌ای از رشد به‌خصوص در مرحله زایشی، سبب تشدید کاهش عملکرد می‌گردد و

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استاد، موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۵- استادیار، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Tahmaseb@modare.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.80050

در نیمه انتهایی نمو زایشی به حداکثر می‌رسد (Keerthi *et al.*, 2017). کمبود آب در انتهای مرحله نمو غلاف و طی تشکیل دانه، توانایی گیاه را برای سازگاری به تنش رطوبتی محدود می‌کند. در صورت آبیاری، وزن دانه و تعداد غلاف گیاهان آبیاری شده در مقایسه با گیاهان تحت تنش افزایش می‌یابد. آبیاری هنگام تکمیل گل‌دهی و پر شدن دانه، عملکرد را تا دو برابر در مقایسه با هنگامی که آبیاری انجام نشود، افزایش می‌دهد. کاهش رطوبت در زمان رشد رویشی نیز می‌تواند به‌طور غیرمستقیم بر ارتفاع گیاه مؤثر باشد. در واقع علت کاهش ارتفاع به تعداد گره کمتر و فاصله میانگره کوتاه‌تر مربوط است (Sabaghnia *et al.*, 2010). پرهیز از تنش آبی در طول دوره بحرانی گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک مهم بوده و در همین راستا گزارش شده که در طول این دوره میزان آب نباید کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک باشد (Keerthi *et al.*, 2017).

به علت قرار گرفتن اکثر اراضی زراعی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک امکان استفاده بهینه از کودهای شیمیایی به‌صورت خاک مصرف چندان رضایت‌بخش نیست زیرا به علت کمبود نزولات جوی و عدم تأمین آب کافی در اواخر دوره رشد، گیاهان امکان جذب عناصر ریز مغذی از خاک محدود می‌گردد. زیرا خاک‌های ایران به دلیل آهکی بودن، بی‌کربناته بودن مواد آلی و مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته دچار کمبود شدید ریز مغذی‌ها به‌ویژه روی و منگنز می‌باشند. کاربرد خاکی مواد غذایی تحت شرایطی که آب در دسترس کم است، در افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به شاخ و برگ گیاه همیشه مؤثر نیست. محلول‌پاشی برگی یکی از روش‌های سریع در عکس‌العمل گیاهان به کود بوده که باعث صرفه‌جویی در مصرف کود می‌گردد. استفاده از این روش کوددهی علاوه بر جنبه اقتصادی و اثر بخشی سریع، باعث حفظ محیط‌زیست شده و در نهایت در رسیدن به کشاورزی پایدار نیز بسیار موثر و مفید است. بنابراین برای استفاده بهینه از کودهای شیمیایی در مناطق خشک و بهبود کیفی و کمی محصول، مصرف کودها از طریق محلول‌پاشی بایستی در اولویت قرار گیرد. عناصر ریز مغذی نقش اساسی در تمایز سلولی، رشد و استحکام دیواره سلولی دارند و در اکثر موارد باعث مقاومت گیاهان به آفات و امراض می‌شوند. در چنین شرایطی کاربرد محلول‌پاشی شاخ و برگ گیاه مفیدتر از کاربرد خاکی مواد غذایی برای بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه است (Rajabi *et al.*, 2013).

عنصر روی در گیاه متحرک نیست، ازاین‌رو علائم کمبود آن ابتدا در برگ‌های جوان‌تر یا نقاط در حال رشد ظاهر می‌شود (Cakmak *et al.*, 2017). این عنصر به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌هایی همچون کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، آلدولازها، سوپراکسید دیسموتاز، آرانای پلیمراز، ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز و فسفولیپازها عمل می‌کند. به‌طوری‌که برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است (Candan *et al.*, 2018). عنصر روی برای سنتز تریپتوفان، پیش‌ماده سنتز ملاتونین، اسید نیکوتنیک و اکسین، ضروری است (Obaid and Al-Hadethi, 2013). گزارش شده با افزایش مقادیر مصرف سولفات روی در ارقام کلزا، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد (Bybordi and Mamedov, 2010).

منگنز (Mn) در سیستم‌های ترکیبی گیاه مشارکت دارد. در واکنش‌های انتقال الکترون گیاه دخیل بوده و در تولید کلروفیل نیز نقش دارد. وجود آن در فتوسیستم II که در فتولیز آب شرکت می‌نمایند، ضروری به‌شمار می‌آید. منگنز به‌عنوان یک فاکتور فعال‌کننده در گیاه عمل می‌کند که تقریباً باعث فعال شدن سی و پنج آنزیم مختلف در گیاه می‌شود. این یون همانند یون منیزیم قادر است ATP را با کمپلکس آنزیمی پیوند دهد (Obaid and Al-Hadethi, 2013). گزارش شده محلول‌پاشی سولفات منگنز بر گیاه کلزا مورد باعث افزایش عملکرد دانه و مقدار روغن در گیاه شده است (Imran and Ali Khan, 2017).

درمجموع، لازم است که اطلاع کامل و صحیحی از عوامل محیطی، خصوصیات زراعی و نیازهای اکولوژیک ارقام مختلف داشت تا بتوان در هر منطقه، رقم مناسبی پیشنهاد داد. با توجه به وجود پتانسیل کشت کلزا در منطقه کرج و نبود اطلاعات جامع در رابطه با محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی مناسب در این منطقه، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی واکنش ارقام مختلف کلزا (از لحاظ عملکرد و اجزای عملکرد، برخی صفات فیزیولوژیک و همچنین محتوای روغن دانه) به شرایط مختلف ایجاد شده در شرایط قطع آبیاری و تغذیه روی و منگنز در لاین‌های جدید کلزا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در منطقه کرج با متوسط بارندگی بلند مدت ۲۴۴ میلی‌متر، که بیشترین میزان آن در آذر ماه و کمترین آن به میزان یک میلی‌متر در تابستان اتفاق می‌افتد، انجام گرفت. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی رسی با ۰/۶۴ درصد کربن آلی، اسیدیته ۷/۷۴ و هدایت الکتریکی ۱/۷۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب ۱۰/۳ و ۲۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان نیتروژن کل خاک برابر ۰/۰۶ درصد، میزان روی ۰/۵ و منگنز ۲/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت.

عامل‌ها در این پژوهش عبارتند از آبیاری، محلول‌پاشی و رقم که در آن آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل رقم در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، محلول‌پاشی در چهار سطح شامل محلول‌پاشی با آب، محلول‌پاشی با غلظت چهار

در هزار سولفات روی، محلول‌پاشی چهار در هزار سولفات منگنز و محلول‌پاشی هم‌زمان سولفات روی و سولفات منگنز با غلظت چهار در هزار در مرحله ۵۰ درصد ساقه‌دهی و تیمار رقم در سه سطح شامل رقم نیما به‌عنوان رقم شاهد و لاین‌های امیدبخش R15 و KS7 بودند. رقم نیما زودرس و لاین KS7 دیررس می‌باشد. لاین R15 از نظر طول دوره رشد بین این دو قرار دارد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر از هم بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۵ سانتی‌متر بود. کلیه عملیات مربوط به داشت به‌جز آبیاری به‌صورت یکسان و بر اساس عرف منطقه انجام شد.

خاک مزرعه در افق توزیع ریشه‌های گیاه با حفر پروفایل ۹۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت. با تعیین ظرفیت مزرعه‌ای خاک (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)، میزان آب قابل استفاده خاک (AW) به‌طور مرتب کنترل شد. برای اعمال تیمار آبیاری، با نمونه‌برداری‌های مداوم از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر خاک کرت زمانی که ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک تخلیه گردید، آبیاری صورت گرفت. همچنین برای تعیین و کنترل مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده شد. کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه و آب مصرفی در طول فصل بر اساس معادله زیر محاسبه شد (Geng *et al.*, 2017):

WUE: Grain Yield/Irrigation

به‌منظور آماده‌سازی زمین، قبل از اجرای آزمایش، زمین مورد نظر آبیاری گردید و پس از گاو رو شدن، به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس جهت خرد شدن کلوخ‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک و ماله زده شد. سپس اقدام به نمونه‌گیری از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کودپاشی (قسمتی از کود نیتروژن‌دار و تمامی کود فسفره و پتاسه مورد نیاز) و پخش علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه گردید و به‌وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط گردیدند. به‌منظور استفاده بهینه از نیتروژن، بقیه کود نیتروژن‌دار مورد نیاز به‌صورت سرک در مرحله شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف گردید (Khajepour, 2001). پس از اجرای آزمایش مطابق نقشه کاشت و سبز شدن و استقرار گیاهچه، کنترل آفات به‌ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) و اکاتین (۱ لیتر در هکتار) صورت گرفت.

جهت اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیک، نمونه‌گیری از برگ در مرحله ۵۰٪ خورجین‌دهی انجام شد. بلافاصله بعد از نمونه‌گیری، نمونه‌ها درون فویل آلومینیومی پیچیده و به درون نیتروژن مایع انداخته شدند و سپس تمام نمونه‌ها تا انجام آزمایشات بیوشیمیایی درون فریزر ۸۰- نگهداری گردیدند. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول برگ از روش دوبیس و همکاران استفاده شد (Dubois *et al*., 1956). کلروفیل برگ نیز به روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949).

به‌منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت به‌صورت دستی و با داس انجام گرفت. مساحت برداشت شده‌ی هر کرت برای عملکرد دانه و عملکرد زیستی از ۴ ردیف میانی با لحاظ کردن اثر حاشیه، ۱ مترمربع بود. جهت تعیین اجزای عملکرد از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین اندازه‌گیری شد. وزن هزاردانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن دانه نیز اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین درصد روغن، پس از خشک کردن دانه‌ها در آون ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت، نمونه‌های ۲۵ گرمی مربوط به هر تیمار آسیاب شده و با استفاده از دستگاه Inframatic 8620 Percor (Germany) مقدار روغن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2002) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد محاسبه گردید. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل به روش برش‌دهی از هم جدا شدند. همبستگی بین صفات در دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به‌صورت جداگانه ارائه شد تا ارتباط بهتری بین صفات برقرار شود.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس حاکی از تأثیر تیمارهای اعمال شده بر تمامی صفات مورد بررسی بود (جدول ۱). اثر اصلی آبیاری بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد ($P\leq۰/۰۱$) معنی‌دار بود. اثر محلول‌پاشی به‌جز کربوهیدرات‌های محلول برگ و ارتفاع بوته در باقی صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نشان داد. اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی تنها در ارتفاع بوته و درصد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر اصلی رقم و اثر متقابل آبیاری در رقم نیز به‌جز درصد روغن دانه، در باقی صفات معنی‌دار شد. اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم و اثر سه‌گانه تاریخ کاشت×آبیاری×رقم در هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نگردید (جدول ۱). نمودار آب و هوای دوره کشت کلزا حاکی از بارندگی ناچیز در فصل بهار و در زمان ساقه‌دهی به بعد بود (شکل ۱).

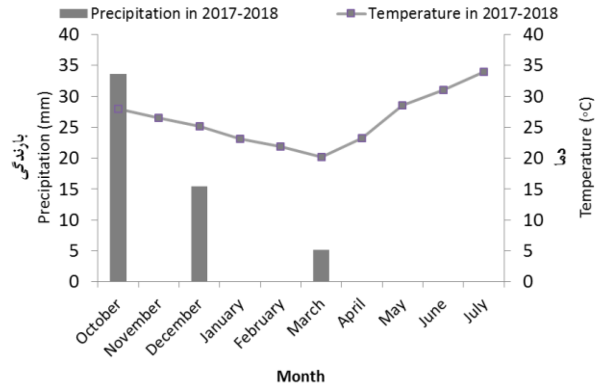
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی و رقم

Table 1- Analysis of variance (mean squares) of physiological traits, yield and yield components in different regimes, foliar application and cultivars

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	کلروفیل کل Totall Chl	کربوهیدرات Carbohydrate	ارتفاع بوته Plant height	تعداد خورجین در بوته No. pod/plant	تعداد دانه در خورجین No. seed/pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil content	عملکرد روغن Oil yield	عملکرد زیستی Biological yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency
Block بلوک	2	0.03 ns	10.6 ns	126.0 ns	85.3ns	9.8*	0.2ns	858902 *	1.48ns	141648 ns	3119219 ns	0.06 *
آبیاری Irrigation(I)	1	10.69 **	1223.3 **	24857.0 **	20940.8 **	592.0**	18.6**	75172191**	666.7**	19561002**	984511146 **	0.07 *
محلول‌پاشی Foliar application(F)	3	0.12 *	18.6 ns	91.5 ns	1324.5 **	16.1**	0.59**	1283067**	42.3**	405428*	194919999 **	0.07 *
آبیاری×محلول‌پاشی I×F	3	0.003 ns	13.6 ns	140.8 *	54.9 ns	0.41 ns	0.02ns	28047 ns	10.9*	14227 ns	1189239 ns	0.004 ns
خطا کرت اصلی (Main Error)	14	0.025	6.7	38.6	116.5	1.64	0.09	228331	2.73	43930	1609807	0.01
Cultivar (C) رقم	2	0.20 **	27.6 **	880.2 **	1143.5 **	12.4**	0.51*	1475691**	1.4 ns	277991 **	25295115 **	0.10 **
(I×C) رقم×آبیاری	2	0.15 **	62.4 **	397.0 **	850.8 **	12.6 **	0.47**	1525116 **	1.68 ns	289176 **	32423613 **	0.10 **
رقم× محلول‌پاشی (C×F)	6	0.001 ns	1.03 ns	0.68 ns	33.4 ns	0.11ns	0.004ns	4325 ns	0.03 ns	911 ns	113474 ns	0.0004 ns
آبیاری×محلول‌پاشی× رقم (C×S×I)	6	0.0009 ns	3.57 ns	0.78 ns	33.9 ns	0.23 ns	0.005 ns	14011 ns	0.01 ns	2204 ns	280337 ns	0.001 ns
خطای کرت فرعی (Sub Error)	32	0.015	4.7	25.0	82.5	0.88	0.04	155300	1.48	37113	1345511	0.008
ضریب تغییرات CV(٪)		10.0	6.9	4.05	6.9	5.3	6.7	10.5	3.3	12.5	8.0	10.2

ns، * و ** به‌ترتیب بدون اثر معنی دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

**, *and ns significant at 0.01, 0.05 probability level and no significant, respectively.



شکل ۱- مجموع بارندگی و متوسط دمای ماهانه در طی دوره رشد

Figure 1- The average monthly rainfall and temperature during the growth period

کلروفیل کل

اثر اصلی محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار گردید و موجب افزایش حداقل ۸ درصدی غلظت کلروفیل نسبت به عدم استفاده از این عناصر شد. به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل کل (۱/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان هر دو عنصر مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین میزان کلروفیل کل تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری در رقم قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل کل در شرایط کامل آبیاری (بدون قطع آبیاری) و لاین R15 با میانگین ۱/۷۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر مشاهده شد (جدول ۴). قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد موجب کاهش غلظت کلروفیل شد، اما این بار رقم نیما بیشترین غلظت کلروفیل (۰/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را دارا بود. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری بود اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت (جدول ۴).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر اثر اصلی آبیاری، محلول‌پاشی و رقم

Table 2- Main effect of irrigation, foliar application and cultivars treatment on physiological traits, yield and yield components

محلول‌پاشی **Foliar application**	کلروفیل کل **Totall Chl (mg.g^{-1} FW)**	تعداد خورجین در بوته **No. pod/plant**	تعداد دانه در خورجین **No. seed/pod**	وزن هزار دانه **1000 seed weight (g)**	عملکرد دانه **Seed yield (kg.ha^{-1})**	عملکرد روغن **Oil yield (kg.ha^{-1})**	عملکرد زیستی **Biological yield (kg.ha^{-1})**	کارایی مصرف آب **Water use efficiency (kg.ha^{-1}.mm^{-1})**
آب (شاهد) Water (Control)	1.13 b	124.4 c	16.5 c	2.77 b	3445 b	1363 c	13160 c	0.80 b
۰/۰۰۴ سولفات روی So_4Zn 0.004	1.23 ab	134.8 ab	17.5 b	2.97 b	3781 ab	1512 bc	14562 b	0.88 ab
۰/۰۰۴ سولفات منگنز So_4Mn 0.004	1.24 ab	131.2 b	17.6 b	2.99 ab	3727 b	1554 b	14156 b	0.88 b
سولفات‌روی+سولفات منگنز So_4Zn 0.004+So_4Mn 0.004	1.34 a	140.8 a	18.8 a	3.21 a	4096 a	1728 a	15675 a	0.97 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P \leq 0.05$ by LSD test.

عنصر روی برای فعالیت انواع گوناگون آنزیم لازم است و کمبود آن موجب به هم‌ریختگی در سوخت و ساز قندها و ساخت پروتئین‌ها می‌شود. در گیاهانی که با کمبود روی روبه‌رو هستند، فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز و فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفاتاز به شدت کاهش می‌یابد (Balaji *et al.*, 2014). منگنز در فعال کردن آنزیم‌های فتوسنتزی دکربوکسیلاز و دهیدروژناز مورد نیاز است. در مرکز واکنش دستگاه نوری ۲ به دست کم ۴ اتم منگنز نیاز است و بخشی از مجموعه آزادکننده اکسیژن می‌باشد. گزارش شده گیاهانی که تحت

تیمار منگنز قرار می‌گیرند فعالیت فتوسنتزی بهتری دارند (Obaid and Al-Hadethi, 2013) که ناشی از افزایش کلروفیل برگ بود. اگر چه محلول‌پاشی هر کدام از عناصر به تنهایی باعث افزایش میزان کلروفیل برگ شد، اما به‌نظر می‌رسد کاربرد هم‌زمان این دو عنصر کارایی بیشتری داشته است. کاهش مقادیر کلروفیل تحت تنش قطع آبیاری، توسط دیگر محققین گزارش شده است (Jamshidi *et al.*, 2012). آن‌ها اعلام کردند که میزان کلروفیل در بسیاری از گیاهان متأثر از شرایط محیطی بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرد. در گیاه برنج تأثیر تنش خشکی موجب کاهش ۲۵ درصدی در محتوای کلروفیل گردید (Xu *et al.*, 2015). گیاهان مختلف و حتی ارقام مختلف یک گیاه پاسخ‌های متفاوتی به تنش‌های محیطی می‌دهند که ناشی از پتانسیل ژنتیکی گیاهان می‌باشد. در واقع گیاهان توانایی‌های متفاوتی در استفاده از عوامل محیطی دارند. در این بین، تنش‌های زیستی و غیر زیستی نیز باعث افزایش و کاهش این توانایی‌ها می‌شود. از آنجا که لاین KS7 از اختلالات ظاهری برخوردار بود، می‌توان این‌گونه استنباط نمود که کمتر بودن غلظت کلروفیل گیاه نیز ناشی از اختلالات ژنتیکی و پتانسیل پایین این رقم باشد. اگرچه قطع آبیاری باعث کاهش غلظت کلروفیل کل در هر سه رقم شد اما بین لاین R15 و رقم نیما تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما این لاین KS7 بود که با اختلاف معنی‌داری غلظت کلروفیل کمتری نسبت به دو رقم دیگر داشت که خود دلیلی بر کمتر بودن پتانسیل ژنتیکی این رقم نسبت به دو رقم دیگر است.

کربوهیدرات‌های محلول برگ

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری در رقم بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که در شرایط آبیاری کامل در طول کشت، لاین R15 و KS7 نسبت به رقم نیما دارای میزان کربوهیدرات محلول برگ بیشتری بودند، ولی هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴). در شرایط قطع آبیاری، میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ افزایش نشان داد، اما بین ارقام مورد مطالعه تفاوتی معنی‌داری وجود نداشت که نشان می‌دهد هر سه واکنش مشابهی در شرایط قطع آبیاری از خود نشان دادند (جدول ۴).

در شرایط آبیاری کامل میزان کربوهیدرات دو لاین R15 و KS7 بیشتر از رقم نیما بود. جدا از تفاوت‌های ژنتیکی، این اختلاف را می‌توان ناشی از طول دوره کوتاه‌تر رقم نیما ذکر کرد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول در برگ از جمله مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در شرایط تنش خشکی است. افزایش مقدار قندهای محلول بر اثر تنش خشکی در کنجد (Aein, 2011) و برنج (Pirdashti *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌واسطه‌ی حفظ آماس در برگ‌های تحت تنش، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کند (Sevanto, 2018). گزارش شده که تجمع کربوهیدرات‌های محلول نتیجه برخی فعل و انفعالات متابولیکی است که در نتیجه باعث اختلال در تشکیل و یا انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی برگ می‌شود که در نهایت منجر به ممانعت از فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Xu *et al.*, 2013). افزایش کربوهیدرات‌های محلول در فرآیند سازگاری گیاه به تنش اهمیت به‌سزایی دارد. تجمع بیشتر این مواد در پنبه و در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است (Zahoor *et al.*, 2017).

ارتفاع بوته

در شرایط آبیاری کامل بیشترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی با سولفات منگنز و در شرایط قطع آبیاری بیشترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۶ و ۴/۶ درصد بیشتر بود (جدول ۳). در هر دو شرایط آبیاری کامل و و قطع آبیاری، لاین R15 با اختلاف معنی‌داری رقم برتر بود که نسبت به رقم نیما (به‌عنوان رقم شاهد) به‌ترتیب ۱۲ و ۲ درصد بیشتر بود. در شرایط آبیاری کامل لاین KS7 نسبت به رقم نیما ارتفاع بیشتری داشت. این درحالی بود که در شرایط قطع آبیاری رقم نیما دارای ارتفاع بیشتری نسبت به لاین KS7 بود (جدول ۴).

در گیاهانی که طول دوره رشد خود را به سرعت طی می‌کنند، طول دوره رویشی کمتر بوده و گیاه از ارتفاع کمتری برخوردار است (Candan *et al.*, 2018). قطع آبیاری و تنش ناشی از آن نیز خود عاملی بوده که تفاوت‌های بین ارقام مشخص شود. دیگر محققین در بررسی خود مشاهده کردند که قطع آبیاری (تنش خشکی) موجب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک گردید (Hassan-zade *et al.*, 2005). کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه کم‌آبی، کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه نسبت داد که در نتیجه طویل شدن سلول‌ها متوقف می‌شود (Candan *et al.*, 2018). در واقع رقم نیما به‌عنوان رقم زودرس بیشتر تحت تأثیر تنش قطع آبیاری قرار گرفت و آن هم به این دلیل بود که این رقم ذاتاً زودرس و دارای ارتفاع کمتری است. وقوع تنش قطع آبیاری خود مزید بر علت شده و ارتفاع را دو چندان کاهش داد. همچنین در شرایط کمبود آب، ترشح هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلولی ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Lalinia *et al.*, 2012). با افزودن عناصر ریزمغذی ارتفاع بوته افزایش یافت که علت آن را می‌توان علاوه بر پتانسیل ژنتیکی ارقام، به وجود عناصر ریز مغذی روی و منگنز در رشد گیاه نسبت داد. به‌نظر می‌رسد وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث توقف رشد رویشی و تسریع در رشد زایشی و در نتیجه توقف افزایش ارتفاع کلزا شده است (Candan *et al.*, 2018). احتمالاً افزایش

ارتفاع بوته در اثر مصرف روی به دلیل تأثیر این عنصر در سنتز اکسین باشد. از آنجا که عنصر روی سبب افزایش تولید اکسین می‌شود در نتیجه محلول‌پاشی آن افزایش ارتفاع در گیاه را به همراه داشته است. در شرایط آبیاری کامل ارتفاع بوته با تمام صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنی‌دار (P≤0.05) داشت (جدول ۵) که نشان از نقش مثبت ارتفاع گیاه در افزایش عملکرد است. اگرچه باید به این نکته اذعان داشت که طیف وسیعی از اختلال‌های مولکولی ناشی از رادیکال‌های فعال و مخرب اکسیژن منجر به ایجاد آسیب‌های فیزیولوژیک در گیاهان تحت تنش می‌شود. یون‌های فلزی همچون روی و منگنز به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشارکت داشته و تحت شرایط تنش، این عناصر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و حساسیت گیاه به تنش را کاهش می‌دهد. سایر محققین نیز گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Rajabi *et al.*, 2013).

تعداد خورجین در بوته

هر چند که با کاربرد عناصر ریز مغذی تعداد خورجین در بوته افزایش یافت ولی بین تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی و تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل بیشترین تعداد خورجین در بوته در لاین R15 مشاهده شد، اما در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین تعداد خورجین در بوته را دارا بود که با لاین R15 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین ارتفاع بوته و درصد روغن تحت تاثیر اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی

Table 3- Two way interaction of irrigation and foliar application plant height and oil content

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar application	ارتفاع بوته Plant height (cm)	درصد روغن Oil percent
بدون قطع آبیاری Without water holding	آب (شاهد) Water (Control)	137.0 b	42.1 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌روی Zn So_4 0.004	139.2 b	42.5 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌منگنز + Mn So_4 0.004	146.1 a	43.3 ab
	سولفات روی+سولفات منگنز Zn So_4 0.004+ Mn So_4 0.004	145.3 a	43.9 a
قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد Water holding at flowering stage	آب (شاهد) Water (Control)	103.1 b	34.5 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌روی $ZnSo_4$ 0.004	108.0 a	35.3 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌منگنز + $MnSo_4$ 0.004	102.9 b	38.7 a
	سولفات روی+سولفات منگنز Zn So_4 0.004+ Mn So_4 0.004	104.8 b	39.0 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at P ≤ 0.05 by LSD test.

در مراحل خروج از روزت و ساقه‌دهی گیاه برای رشد سریع و تشکیل اجزای عملکرد آماده می‌شود که در این مراحل نیاز به عناصر از جمله روی و منگنز افزایش می‌یابد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج سایر محققین که گزارش کردند مصرف عناصر روی و منگنز باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌شود مطابقت دارد (Bameri *et al.*, 2012). در شرایط قطع آبیاری رقم نیما به دلیل زودرس بودن از خسارات ناشی از تنش فرار کرده و توانسته از ریزش خورجین به دلیل تنش جلوگیری کند. در این رابطه می‌توان بیان نمود قطع آبیاری و تنش خشکی ناشی از آن باعث ایجاد نقصان در تولید و عرضه مواد فتوسنتزی به خورجین‌های تولید شده و در حال رشد می‌شود که در نتیجه ریزش آن‌ها را در پی‌خواهد داشت. در شرایط آبی کامل، به دلیل بلندتر بودن طول دوره رشد لاین R15 نسبت به رقم نیما، از فرصت بیشتری برای تشکیل خورجین در بوته برخوردار بوده است.

تعداد دانه در خورجین

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح محلول‌پاشی بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که تیمار محلول‌پاشی دو عنصر باهم با میانگین ۱۸/۸ دانه در خورجین بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و نسبت به سایر تیمارها برتری داشت (جدول ۲). اگرچه بین تیمار

محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات منگنز به‌تنهایی، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و رقم بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که تیمار آبیاری معمول در لاین R15 بیشترین تعداد دانه در خورجین را داشت و بین سایر ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اما در شرایط قطع آبیاری این رقم نیما بود که دارای بیشترین تعداد دانه در خورجین بود. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت (جدول ۴).

تاثیرات مثبت روی و منگنز بر متابولیسم گیاه باعث تقویت گیاه در مرحله زایشی و تشکیل دانه می‌شود؛ در نتیجه تعداد دانه در خورجین افزایش می‌یابد. عنصر روی تأثیرات مستقیم و غیر مستقیمی بر باروری دارد. تأثیرات غیرمستقیم آن، احتمالاً به تغییرات ایجاد شده در مقدار و ترکیب شهد گیاه ارتباط دارد به گونه‌ای که سبب جلب بیشتر حشرات در زمان گرده‌افشانی می‌شود. تأثیرات مستقیم آن به همبستگی مثبت این عنصر با تولید دانه گرده دارد که در سنتز پروتئین لوله گرده نقش دارد و منجر به تشکیل بیشتر دانه می‌شود (Borg and Berger, 2015). در تحقیقی مشخص شده است که مصرف روی سبب افزایش معنادار عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا شد (Yang *et al.*, 2009). تعداد دانه در خورجین یکی از اجزای عملکرد دانه کلزا است که با افزایش آن عملکرد گیاه افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش سایر محققان همخوانی دارد (Jamshidi *et al.*, 2012). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 به دلیل طول دوره رشد بیشتر نسبت به رقم نیما، فرصت بیشتری برای تشکیل دانه در اختیار داشت. بنابراین بیشتر بودن تعداد دانه در این رقم دور از انتظار نیست. اما در شرایط قطع آبیاری بعد از گلدهی، تشکیل دانه در این ارقام مختل می‌شود که خود از خسارات ناشی از تنش است. همچنین لاین R15 به‌دلیل چند روز دیررس تر بودن نسبت به رقم نیما، مدت زمان بیشتری را در شرایط قطع آبیاری به سر برد، که منجر به کاهش تعداد دانه در خورجین شد. از علل این اتفاق می‌توان به هزینه بالای نگهداری گیاه در شرایط تنش و کمبود فرآورده‌های فتوسنتزی نسبت داد. با توجه بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش (Zahoor *et al.*, 2017) تامین نیاز غذایی گیاه مختل شده که خود منجر به تقسیط کمتر فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها می‌گردد.

اما در شرایط تنش، زودرس بودن رقم نیما باعث فرار گیاه از شرایط تنش و گرمای آخر فصل می‌شود. همین امر منجر به این می‌شود که از عملکرد زیستی بیشتر نسبت دو رقم دیگر برخوردار باشد. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت.

جدول ٤- اثر متقابل دوگانه رقم و آبیاری بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 4- Two-way interaction between irrigation and cultivar on physiological traits, yield and yield components

تیمار Treatment		صفات Traits									
آبیاری Irrigation	رقم Cultivar	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	کربوهیدرات Carbohydrate (µg.g^{-1} FW)	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	تعداد خورجین در بوته No. pod/plant	تعداد دانه در خورجین No. seed/pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg.ha^{-1}.mm^{-1})
بدون قطع آبیاری Without water holding	R15	1.74 a	29.7 a	152.6 a	159.2 a	21.6 a	3.7 a	5168 a	2244 a	20233 a	0.99 a
	KS7	1.59 b	27.9 a	139.5 b	146.5 b	20.2 b	3.4 b	4693 b	2016 b	17546 b	0.90 b
	Nima	1.54 b	24.4 b	133.6 c	140.9 b	19.6 b	3.3 c	4491 b	1922 b	16478 c	0.86 b
قطع از مرحله گل‌دهی به‌بعد Water holding at flowering stage	R15	0.91 a	35.1 a	108.0 a	119.2 a	15.1 a	2.53 a	2855 a	1061 a	10845 a	0.88 a
	KS7	0.70 b	35.3 a	101.0 c	104.6 b	13.6 b	2.28 b	2338 b	861 b	9589 b	0.72 b
	Nima	0.96 a	36.2 a	105.2 b	120.5 a	15.5 a	2.63 a	3029 a	1133 a	11636 a	0.94 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at P ≤ 0.05 by LSD test.

وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین مقدار این صفت از محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر با میانگین ۳/۲ گرم حاصل شد و نسبت به محلول‌پاشی با آب برتری ۱۳ درصدی داشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 دارای بیشترین وزن هزار دانه بود که نسبت به رقم نیما ۱۰ درصد بیشتر بود. در حالی‌که در شرایط قطع آبیاری رقم نیما، رقم برتر بود که نسبت به لاین KS7 ۱۳ درصد بیشتر بود (جدول ۲). شرایط قطع آبیاری باعث کاهش ۳۱ درصدی وزن هزار دانه لاین R15 شد.

افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف هم‌زمان روی و منگنز را می‌توان به نقش این عناصر در افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد (ایندول استیک اسید)، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن نسبت داد که در نهایت منجر به افزایش تولید و تجمع آسیمیلات در دانه خواهد شد (Sperotto *et al.*, 2013). از طرفی یکی از دلایل عملکرد پایین گیاهان زراعی، فقدان برنامه تغذیه‌ای مناسب برای این محصولات است (Soleimani, 2005) و همواره یک یا چند عنصر بر اساس قانون حداقل باعث عدم دستیابی به بیشینه عملکرد می‌شود که می‌توان با محلول‌پاشی این عناصر بیشترین عملکرد ممکن را به‌دست آورد. با توجه به این‌که وزن هزار دانه یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌شود افزایش آن باعث افزایش عملکرد می‌شود. نتایج جدول همبستگی حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار این دو صفت در شرایط آبیاری کامل است (جدول ۵). نتایج آزمایش والی و همکاران نیز حاکی از همبستگی بالای عملکرد دانه با وزن هزار دانه در گلرنگ بود (Valli *et al.*, 2016). رجبی و همکاران نیز افزایش وزن هزار دانه را با محلول‌پاشی روی و منگنز در گلرنگ گزارش کردند (Rajabi *et al.*, 2013).

بیشتر بودن وزن هزار دانه لاین R15 در شرایط آبی احتمالاً به دلیل طولانی بودن دوره رشد این رقم نسبت به رقم نیما باشد. ارقامی که طول دوره رشد کوتاه‌تری دارند فرصت کمتری خواهند داشت تا سلول‌های مخزن دانه را پر کنند. وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن دانه است و از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود. در شرایط قطع آبیاری به دلیل کوتاه شدن دوره رویشی کربوهیدرات‌های کمتری در گیاه ذخیره می‌شود. کم بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای سبب کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی می‌شود. درواقع تنش خشکی منجر به اختلال در تولید و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه شده که کاهش وزن هزاردانه را در پی دارد. همچنین تنش خشکی، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را از برگ‌ها و مخازن دیگر به دانه کاهش می‌دهد. در شرایط قطع آبیاری، گرمای آخر فصل و نبود آب کافی منجر به کاهش وزن هزار دانه ارقام با طول دوره رشد بیشتر می‌شود. رقم نیما و R15 با زودتر تمام کردن طول دوره رشد خود، از گرمای آخر فصل فرار کرده‌اند.

عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل متعلق به لاین R15 بود، به‌طوری‌که نسبت به رقم نیما ۱۳ درصد بیشتر بود. لاین Ks7 و رقم نیما در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین عملکرد دانه را با میانگین ۳۰۲۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آورد. اگرچه لاین R15 در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت (جدول ۴). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 بیشترین عملکرد دانه را نشان داد که علت آن‌را می‌توان طولانی بودن طول دوره رشد نسبت به رقم نیما دانست. در شرایط تنش، رقم نیما از عملکرد بیشتری نسبت به دو رقم دیگر برخوردار بود. رقم نیما به علت این‌که طول دوره رشد خود را زودتر تمام کرد، از خسارات ناشی از گرمای آخر فصل و نبود آب لازم فرار کرده و دچار افت عملکرد بیشتر نشد. دیگر محققین اظهار داشتند هنگامی‌که گیاه در مرحله رشد خورجین‌ها با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد که متأثر از کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته و وزن زیست‌توده بوده است (Molazem *et al.*, 2013; Bameri *et al.*, 2012). نتایج جدول مقایسه میانگین حاکی از آن بود که تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان دو ریزمغذی بیشترین عملکرد را به‌دست آورد (جدول ۲). اگرچه تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی نیز در همین گروه آماری قرار داشت. همچنین بین محلول‌پاشی با سولفات منگنز و آب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همبستگی مثبت بالایی بین تعداد خورجین در گیاه، تعداد شاخه در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه با عملکرد دانه را گزارش شده است (Molazem *et al.*, 2013).

تنش خشکی کلیه فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان را تحت تأثیر قرار داده، باعث کاهش تقسیم سلولی، سطح برگ و در نهایت باعث کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Faize *et al.*, 2015). اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد گیاهان توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Ma *et al.*, 2017; Marreiro *et al.*, 2017). محلول‌پاشی با روی باعث افزایش تعداد برگ، خوشه، سطح برگ و وزن هزار دانه در ارقام گندم شد (Qaswar *et al.*, 2017). یک توضیح محتمل در این زمینه، بهبود اجزای عملکرد در اثر کاربرد روی است. روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها دارد و سبب انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می‌شود. از طرف دیگر، شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرآیند گرده‌افشانی بر اثر کمبود روی مختل شد و به کاهش

عملکرد در اثر کاهش تولید ایندول استیک اسید انجامید (Yang *et al.*, 2009). گزارش شده محلول‌پاشی سولفات روی از طریق افزایش اکسین و تنظیم آب گیاه باعث بهبود رشد رویشی، افزایش فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Qaswar *et al.*, 2017). منگنز در فرآیند فتوسنتز، سنتز کربوهیدرات‌ها و متابولیسم‌چربی‌ها نقش دارد. منگنز همچنین یک عنصر ضروری در سنتز پروتئین‌ها به‌شمار می‌رود و اثرات این عنصر در افزایش عملکرد دانه در گیاهان، مربوط به نقش این عنصر در فعالیت آنزیم‌ها است. با توجه به مطالب عنوان شده وجود این عناصر ریز مغذی می‌تواند عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دهد.

با توجه به این‌که رقم نیما زودرس می‌باشد طول دوره رشد خود را سریع طی نموده و در شرایط کم‌آبی کمتر تحت تأثیر خسارات ناشی از قطع آبیاری قرار گرفت. بنابراین در شرایط قطع آبیاری از اجزای عملکرد بیشتر (جدول ۵) و در نتیجه عملکرد دانه‌ی بیشتری نسبت به سایرین برخوردار بود که نقطه قوت این رقم در شرایط کم‌آبی است. اما همین رقم در شرایط آبی مناسب به علت این‌که طول دوره رشد خود را سریع طی می‌کند نسبت به سایر ارقام فرصت کمتری برای افزایش عملکرد دارد. در مقابل لاین KS7 به علت دیر رس بودن و وجود اختلالات ژنتیکی، در شرایط قطع آبیاری از خسارات ناشی از آن در امان نبوده و در شرایط آبی مناسب نیز توان استفاده از عوامل محیطی را نداشته است. اگرچه در برخی صفات مورد بررسی لاین KS7 با رقم برتر در یک گروه آماری قرار می‌گرفت اما رقمی که حداقل در ظاهر دچار اختلالات و ناهنجاری‌هایی بود مناسب معرفی نیست.

درصد و عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر درصد روغن دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان روغن دانه مربوط به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی همزمان سولفات روی و منگنز با میانگین ۴۳/۹ درصد بود به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد ۴ درصد افزایش داشت. تیمار محلول‌پاشی با منگنز به‌تنهایی نیز در همین گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). اگرچه در شرایط قطع آبیاری درصد روغن دانه کاهش داشت اما محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر توانست تا حدودی باعث افزایش درصد روغن دانه شود.

جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد روغن در تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان سولفات روی و منگنز با میانگین ۱۷۲۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد، اگرچه بین تیمار عناصر ریز مغذی به‌تنهایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط آبیاری کامل لاین R15 با میانگین ۲۲۴۴ کیلوگرم در هکتار رقم برتر بود اما در شرایط قطع آبیاری این رقم نیما بود که از باقی ارقام عملکرد روغن بیشتری داشت (جدول ۴).

درصد روغن دانه صفتی با وراثت‌پذیری بالا می‌باشد که البته تا حدودی هم تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در واقع قطع آبیاری با کاهش جذب عناصر غذایی و اختلال در فرآیند کربن‌گیری موجب کاهش درصد روغن در بذر می‌شود که با محلول‌پاشی تا حدودی این کاستی جبران شد. محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز، متابولیسم چربی‌ها را افزایش داده و میزان چربی ذخیره شده در بافت‌های ذخیره‌ای مانند دانه بیشتر می‌شود (Hanif *et al.*, 2017; Kanwal *et al.*, 2016). در شرایط آبیاری کامل درصد روغن دانه همبستگی مثبتی با عملکرد زیستی داشت (جدول ۵) که نشان می‌دهد افزایش وزن زیست‌توده گیاهی و در نتیجه افزایش سطح فتوسنتزکننده موجب افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و در نهایت افزایش درصد روغن در دانه می‌شود.

بیشترین همبستگی عملکرد روغن با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵). از آن‌جایی‌که نقش منگنز در متابولیسم چربی‌ها بسیار کلیدی است (Cakmak *et al.*, 2017) نتایج به‌دست آمده دور از انتظار نیست. گزارش شده که کاربرد عناصر ریزمغذی باعث افزایش عملکرد روغن دانه می‌شود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد (Rezaeieh *et al.*, 2016). در این آزمایش، علی‌رغم مشابه بودن درصد روغن دانه در ارقام مختلف کلزای مورد مطالعه، لاین R15 بیشترین عملکرد روغن در واحد سطح را نشان داد. به‌نظر می‌رسد که عملکرد روغن کلزا در واحد سطح بیشتر تابع عملکرد دانه است و افزایش عملکرد دانه سبب ارتقاء عملکرد روغن در هکتار می‌شود.

عملکرد زیستی

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح محلول‌پاشی بر عملکرد زیستی نشان داد که محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر با میانگین ۱۵۶۷۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد زیستی را داشت و نسبت به عدم محلول‌پاشی برتری ۱۶ درصدی از خود نشان داد (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیستی در لاین R15 و در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد که نسبت رقم نیما (شاهد) ۱۸ درصد بیشتر بود. قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش عملکرد زیستی شد به‌طوری‌که در بین ارقام مورد بررسی، رقم نیما با میانگین ۱۱۶۳۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و لاین KS7 با ۹۵۸۹ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد زیستی را دارا بود. با توجه به زودرسی بودن رقم نیما، کمتر بودن عملکرد زیستی در این رقم قابل‌توجیه است. اما در شرایط تنش، زودرس بودن رقم نیما باعث فرار گیاه از شرایط تنش و گرمای آخر فصل می‌شود. همین امر منجر به این می‌شود که از عملکرد زیستی بیشتر نسبت دو رقم دیگر برخوردار باشد. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت.

سولفات روی با افزایش هورمون اکسین و سولفات منگنز با نقش داشتن در فرآیند فتوسنتز (Obaid and Al-Hadethi, 2013) باعث افزایش رشد سلولی، افزایش سطح برگ و در نهایت باعث افزایش رشد رویشی شده که این خود باعث افزایش عملکرد زیستی در کلزا می‌شود. عملکرد زیستی از چند جنبه حائز اهمیت است. از طرفی به دلیل این‌که دربرگیرنده عملکرد کاه است، می‌تواند از لحاظ اقتصادی مورد توجه قرار گیرد. چرا که علوفه کلزا از نظر پروتئین قابل هضم کیفیت خوبی برای دام دارد (Khajepour, 2005). از نظر فیزیولوژیکی نیز عملکرد زیستی معادل تولید خالص کل می‌باشد. بنابراین گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید بهترین استفاده را داشته و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند و دارای بیشترین تولید خالص باشند. گزارش شده که افزایش تنش خشکی باعث کاهش عملکرد زیستی می‌شود (Xu *et al*., 2015) اگرچه این کاهش بسته به نوع گیاه و در هر رقم متفاوت است. دلیل افزایش تولید ماده خشک در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و دوام بهتر سطح برگ است که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک می‌گردد که نتیجه این گزارش با این تحقیق مطابقت دارد.

کارایی مصرف آب

بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار محلول‌پاشی دو عنصر سولفات منگنز و روی (هم‌زمان) (۰/۹۷ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۷/۵ درصد افزایش یافت. کارایی مصرف تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۱). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 با میانگین ۰/۹۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود که نسبت به لاین KS7 و نیما به‌ترتیب ۹ و ۱۳ درصد بیشتر بود. در شرایط آبیاری کامل، لاین R15 بیشترین کارایی مصرف آب را داشت در حالی‌که رقم نیما با دوره رشد کمتر، کارایی مصرف آب کمتری داشت. این مطلب نشان‌دهنده آن است که مقدار آب مصرفی در مقابل دانه تولید شده در رقم نیما، کارایی کمتری داشته در حالی‌که لاین R15 با تولید دانه بیشتر در دوره رشد بیشتر و بالطبع مصرف آب بیشتر (نسبت به رقم نیما) کارایی مصرف آب بهتری داشته است و از رطوبت موجود حداکثر استفاده را نموده است. در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود، به‌طوری‌که نسبت به شرایط کامل آبیاری در همین رقم ۸ درصد افزایش نشان داد و حاکی از این است که اگرچه مقدار عملکرد دانه کاهش یافت اما موجب افزایش کارایی مصرف آب شده است. گزارش‌های بسیاری در مورد تنوع ژنتیکی در بین ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر کارایی مصرف آب وجود دارد (Slafer and Whitechurch, 2001; Sadeghinejad *et al*., 2014). اختلاف ارقام از نظر کارایی مصرف آب به توانایی آن‌ها از نظر گسترش سیستم ریشه، جذب رطوبت خاک و قابلیت آن‌ها در تقسیط بیشتر ماده خشک به دانه وابسته می‌باشد (Sadeghinejad *et al*., 2014). در شرایط قطع آبیاری رقم نیما با فرار از خسارت ناشی از گرمای آخر فصل، مانع کاهش بیشتر عملکرد ناشی از گرمای آخر فصل می‌شود که منجر به افزایش کارایی آب مصرفی نسبت به لاین R15 شد. کارایی مصرف آب با محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز افزایش یافت. این نتیجه می‌تواند مربوط به نقش روی در هدایت روزنه‌ای باشد. کمبود روی موجب اختلال در ورود کربن/خروج رطوبت از روزنه‌ها می‌شود. از طرفی محلول‌پاشی عناصر عناصر ریز مغذی از طریق افزایش تولید عملکرد دانه باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و روغن کلزا می‌شود. مصرف عناصر ریز مغذی روی و منگنز به‌صورت محلول‌پاشی می‌تواند عملکرد و اجزای آن را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. لذا با توجه به آهکی بودن غالب خاک‌های ایران و مشکل کاهش جذب عناصر ریز مغذی از طریق خاک، محلول‌پاشی این عناصر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد کلزا شود. به‌علاوه محصول کلزا بسته به نوع رقم و قابلیت ارقام در پاسخ به شرایط آبی و تغذیه‌ای، واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان تا حدودی نیاز گیاه به عناصر ریز مغذی را با محلول‌پاشی تأمین نمود و باعث افزایش عملکرد دانه گیاه شد. در بین ارقام مورد بررسی، اگرچه در برخی صفات مورد بررسی لاین KS7 با رقم برتر در یک گروه آماری قرار می‌گرفت، اما رقمی که حداقل در ظاهر دچار اختلالات و ناهنجاری‌هایی بود، به هیچ عنوان قابل توصیه و معرفی به‌عنوان رقم مناسب یک شرایط خاص یا یک منطقه خاص نیست. با توجه به این نکته، در شرایط آبیاری مناسب لاین R15 مناسب آب و هوای منطقه کرج است، اما در صورتی‌که پیش‌بینی می‌شود در بهار با کمبود آب مواجه می‌شویم رقم نیما با توجه به کوتاه بودن دوره رشد، رقم مناسبی خواهد بود.

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون بین صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 5- Pierson correlation coefficients between physiological traits, yield and yield components traits of canola

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
آبیاری کامل Normal irrigation regimes	1- Total Chlorophyll کلروفیل کل	1										
	2- Carbohydrate کربوهیدرات	0.45 **	1									
	3- Plant height ارتفاع بوته	0.67 **	0.65 **	1								
	4- No. of pod تعداد خورجین در بوته	0.61 **	0.59 **	0.67 **	1							
	5- No. of seed in تعداد دانه در خورجین	0.55 **	0.61 **	0.63 **	0.64 **	1						
	6- 1000 seed weight وزن هزاردانه	0.62 **	0.72 **	0.80 **	0.68 **	0.86 **	1					
	7- Seed yield عملکرد دانه	0.74 **	0.74 **	0.73 **	0.49 **	0.43 **	0.61 **	1				
	8- Oil percentage درصد روغن دانه	0.60 **	0.30 **	0.45 **	0.26 ns	0.51 **	0.42 **	0.44 **	1			
	9- Oil yield عملکرد روغن دانه	0.78 **	0.49 **	0.75 **	0.49 **	0.51 **	0.64 **	0.97 **	0.64 **	1		
	10- Biomass yield عملکرد زیستی	0.50 **	0.63 **	0.63 **	0.42 **	0.44 **	0.48 **	0.56 **	0.34 *	0.58 **	1	
	11-Water use کارایی مصرف آب	0.75 **	-0.44 **	0.69 **	0.49 **	0.43 **	0.61 **	0.97 **	0.44 **	0.97 **	0.56 **	1
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
قطع آبیاری Water holding regimes	1- Total Chlorophyll کلروفیل کل	1										
	2- Carbohydrate کربوهیدرات	0.09 ns	1									
	3- Plant height ارتفاع بوته	0.49 **	0.11 ns	1								
	4- No. of pod تعداد خورجین در بوته	0.72 **	0.14 ns	0.77 **	1							
	5- No. of seed in تعداد دانه در خورجین	0.66 **	0.11 ns	0.77 **	0.72 **	1						
	6- 1000 seed weight وزن هزاردانه	0.71 **	0.15 ns	0.50 **	0.69 **	0.49 **	1					
	7- Seed yield عملکرد دانه	0.76 **	0.15 ns	0.58 **	0.73 **	0.66 **	0.66 **	1				
	8- Oil percentage درصد روغن دانه	0.42 **	0.10 ns	0.47 **	0.43 **	0.64 **	0.46 **	0.57 **	1			
	9- Oil yield عملکرد روغن دانه	0.73 **	0.15 ns	0.61 **	0.72 **	0.72 **	0.66 **	0.97 **	0.74 **	1		
	10- Biomass yield عملکرد زیستی	0.49 **	-0.09 ns	0.64 **	0.58 **	0.69 **	0.60 **	0.56 **	0.41 *	0.57 **	1	
	11-Water use کارایی مصرف آب	0.76 **	-0.48 **	0.22 ns	0.73 **	0.66 **	0.65 **	0.96 **	0.56 **	0.97 **	0.56 **	1

ns، * و ** به‌ترتیب بدون اثر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** ,*and ns significant at 0.01, 0.05 probability level and no significant, respectively.

Refrences

1. Aein, A. 2011. Changes in the amount of proline, carbohydrate solution and potassium, zinc and calcium absorption in sesame genotypes. (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. Crop production under environmental stress conditions 4 (3): 39-48. (in Persion).
2. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. Plant Physiology 24: 1-15.
3. Balaji, S., Kalaivani, T., and Rajasekaran, C. 2014. Biosorption of Zinc and Nickel and Its Effect on Growth of Different Spirulina Strains. Clean – Soil, Air, Water 42 (4): 507-512.
4. Bameri, M., Abdolshahi, R., Mohammadi-Nejad, Gh., Yousefi, Kh., and Tabatabaie, S. M. 2012. Effect of different microelement treatment on wheat (*triticum aestivum*) growth and yield. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3 (1): 219-223.
5. Borg, M., and Berger, F. 2015. Chromatin remodelling during male gametophyte development. The Plant Journal 83 (1): 177-188.
6. Bybordi, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of Application Methods Efficiency of Zinc and Iron for Canola (*Brassica napus* L.). Notualea Science Biological 2 (1): 94-103.
7. Cakmak, I., McLaughlin, M. J., and White, P. 2017. Zinc for better crop production and human health. Plant and Soil 411: 1-4.
8. Candan, N., Cakmak, I., and Ozturk, L. 2018. Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 181 (3): 388-395.
9. Din, J., Khan, S. U., Ali, I., and Gurmani, A. R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences 21 (1): 78-82.
10. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Reber, P. A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Annual Chemistry 28: 350-356.
11. El-Din, H., El-Beltagi, S., and Mohamed, A. A. 2010. Variations in fatty acid composition, glucosinolate profile and some phytochemical contents in selected oil seed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Grasas y Aceites 61 (2): 141-150.
12. Faize, M., Nicola´s, E., Faize, L., Dı´az-Vivancos, P., Burgos, L., and Herna´ndez, J. A. 2015. Cytosolic ascorbate peroxidase and Cu, Zn-superoxide dismutase improve seed germination, plant growth, nutrient uptake and drought tolerance in tobacco. Theor. Experimental Plant Physiology 27: 215-226.
13. Geng, Y. J., Chen, L., Yang, C., Jiao, D. Y., Zhang, Y. H., and Cai, Z. Q. 2017. Dry-season deficit irrigation increases agricultural water use efficiency at the expense of yield and agronomic nutrient use efficiency of Sacha Inchi plants in a tropical humid monsoon area. Industrial Crops & Products 109: 570-578.
14. Hanif, M. A., Nawaz, H., Ayub, M. A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M., and Ahmad, M. 2017. Evaluation of the effects of zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. Industrial Crops Product 96: 91-101.
15. Hassan-Zade, M., Naderi Darbaghshahi, M. R., and Shirani Rad, A. H. 2005. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of autumn rapeseed varieties in Isfahan region. Iranian Journal of Research in Agriculture 2 (2): 51- 62. (in Persian).
16. Imran and Ali Khana, A. 2017. Canola Yield and Quality Enhanced with Sulphur Fertilization. Russian Agricultural Sciences 43 (2): 113-119.
17. Jamshidi, N., Shirani rad, A. H., Takht chin, F., Nazeri, P., and Ghafari, M. 2012. Evaluation of Rapeseed Genotypes under Drought Stress Condition. Journal of Crop Ecophysiology 6 (3): 323-339. (in Persian).
18. Kanwal, N., Hanif, M. A., Khan, M. M., Ansari, T.M., and Khalil-Ur-Rehman, R. 2016. Effect of micronutrients on vegetative growth and essential oil contents of Ocimum sanctum. Journal Essential Oil Bearing Plants 19: 980-988.
19. Keerthi, P., Pannu R. K., and Dhaka A. K. 2017. Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Agricultural Science Digest 37 (1): 27-31.
20. Khajepour, M. R. 2001. Industrial plants. Publications Unit, University Jihad of Isfahan., 571 pages. (in Persion).
21. Khan, M. A., Ashraf, M. Y., Mujtaba, S. M., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Shereen, A., Mumtaz, S., Aqil Siddiqui M., and Murtaza Kaleri, G. 2010. Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. Pakistan Journal of Botany 42 (6): 3807-3816.
22. Lalinia, A. A., Khamenh, M., Galostian, M., Majnoon Hoseini, N., and Esmailzade Bahabadi, S. 2012. Echophysiological impact of water stress on growth and development of mungbean. International Journal of Agronomy and Plant Production 3: 599-607.
23. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., and Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.00860.

24. Marreiro, D. D. N., Cruz, K. J. C., Morais, J. B. S., Beserra, J. B., Severo, J. S., and Oliveira, A. R. S. 2017. Zinc and oxidative stress: current mechanisms. Antioxidants 6. DOI: 10.3390/ antiox6020024.
25. Molazem, D., Azimi, J., Ghasemi, M., Hanifi, M., and Khatami, A. 2013. Correlation analysis in different planting dates and plant density of canola (*Brassica napus* L.) varieties in Astara Region. Life Science Journal 10 (1): 26-31.
26. Obaid, E. A., and Al-Hadethi M. A. E. 2013. Effect of Foliar Application with Manganese and Zinc on Pomegranate Growth, Yield and Fruit Quality. Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants 5 (1): 41-45.
27. Pirdashti, H., Tahmasebi – Sarvestani, Z., and Bahmanyar, M. A. 2009. Comparison of physiological response among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. World Academy of Science, Engineering and Technology 49: 52-53.
28. Qaswar, M., Hussain, S., and Rengel, Z. 2017. Zinc fertilisation increases grain zinc and reduces grain lead and cadmium concentrations more in zinc-biofortified than standard wheat cultivar. Science Total Environment 605: 454-460.
29. Rajabi, M., Fetri, M., Ghobadi, M. E., Faraji, M. H., and Asadian, Gh. 2013. Foliar application of Zn and Mn fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. International Journal of Agricultural Crop Scince 5: 718-822.
30. Rameeh, V. 2014. Evaluation of planting dates effects on growth, phenology and seed yield of spring rapeseed varieties. Oil Plant Production 79-89. (in Persion).
31. Rezaeieh, K. A. P., Gurbuz, B., and Eivazi, A. 2016. Effects of different zinc levels on vegetative growth and essential oil contents of some Iranian and Turkish cumin (*Cumin cyminum* L.) genotypes. Journal of Essential Oil Bearing Plants 19: 1181-1191.
32. Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010. Interrelationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. Spanish Journal of Agricultural Research 8 (2): 356-370.
33. Sadeghinejad, A. A., Modarres Sanavi, S. A. M., Tabatabaei, S. A., and Modares Vameghi, S. M. 2014. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Water and Soil Science 24 (2): 53-64. (in Persian).
34. Sepehri, A., and Golparvar, A. R. 2011. The eEffect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Electronic Journal of Biology 7 (3): 49-53.
35. Sevanto, S. 2018. Drought impacts on phloem transport. Current Opinion in Plant Biology 43: 76-81.
36. Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2017. Sowing date and N application effects on tape root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. Europe Journal of Agriculture 83: 40-46.
37. Slafer, G. A., and Whitechurch, E. M. 2001. Manipulation wheat development to improve adaptation. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A. (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 160-170.
38. Soleimani, R. 2005. The integrated effects of foliar and soil application of Zn, Fe and Mn on yield and yield compounds of wheat in Ilam. Final Report of Research Project. Soil and Water Research Institute, Iran. 1222 (in Persian).
39. Sperotto, R. A., Ricachenevsky, F. K., de Waldow, V., Müller, A. L. H., Dressler, V. L., and Fett, J. P. 2013. Rice grain Fe, Mn and Zn accumulation: How important are flag leaves and seed number? Plant, Soil and Environment 59: 262-266.
40. Valli, S. P., Sudhakar, C., Rani, J., and Rajeswari, R. R. 2016. Correlation and path coefficient analysis for the yield components of safflower germplasm (*Carthamus tinctorius* L.). Electronic Journal Plant Breeding 7: 420-426.
41. Xu, C., McDowell, N. G., Sevanto, S., and Fisher, R. A. 2013. Our limited ability to predict vegetation dynamics under water stress. New Phytology 200: 298-300.
42. Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., and Peng, Sh. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration. Acta Physiol Plant. 37: 9. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1760-0
43. Yang, M., Shi, L., Xu, F. S., Lu, J. W., and Wang, Y. H. 2009. Effects of B, Mo, Zn and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pedosphere 19 (1): 53-59.
44. Zahoor, R., Dong, H., Abid, M., Zhao, W., Wang, Y., and Zhou, Zh. 2017. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. Environmental and Experimental Botany 137: 73-83.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 85-100

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۰-۸۵

The Effect of Withholding Irrigation and Foliar Application of Zn and Mn on Yield and Eco-physiological Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

G. Khodabin[1], Z. Tahmasebi-Sarvestani[2*], A. H. Shirani Rad[3], S. A. M. Modarres-Sanavy[4], E. Bakhshandeh[5]

Received: 12-04-2019
Accepted: 29-09-2019

Introduction

Development of new canola (*Brassica napus* L.) varieties need effective tools to monitor characterizes association in yield and its components. Although, determination of the response of oil seeds cultivars to environmental variables is one of the principal of agriculture planning to achieve maximum qualitative and quantitative yield. Water deficit stress and sufficient nutrition are the most important factors limiting yield production by changing the physiological processes of the plant. Iran is considered as the arid and semi-arid with average rainfall of 250 mm. On the other hand, 33% of agriculture land is devoted to dry cultivation. Water deficit by affecting on vegetative and reproductive growth period and balance between them will change yield and product quality.

Materials and Methods

In order to study the responses of three winter canola cultivars to late season drought stress and foliar application of Mn and Zinc sulfate fertilizer on physiological, morphology characteristics and yield, a split factorial experiment was carried out based on randomized complete block design with three replications in 2017-2018 at the Karaj province. Irrigation in two levels, normal and water holding at flowering stage to next, foliar application in four levels, sprayed with water (control), foliar application with zinc sulfate, foliar application with Mn sulfate, foliar application composition with zinc sulfate and Mn sulfate (each of them was with concentration of four per thousand) both in main plot and three cultivars included Nima (control) and two new lines KS7 and R15 in sob plot. Foliar application was applied during the stem elongation stage. When the 50% of pod appeared total chlorophyll and leaves carbohydrate solution content was measured as index of drought stress damage. Eight traits were measured on 10 random plants per plot. The traits were plant height, number of pods /plant, number of seeds/pod, 1000 seed weight, seed yield, biomass yield, oil percentage and oil yield.

Results and Discussion

The results showed all characteristics significantly were influenced by water holding and foliar application. Interaction of water holding and foliar application was significant in attributes of plant height and oil content. Main effect of cultivar and interaction of water holding and cultivar were significant in all treatment except oil content. Due to water holding increasing in soluble carbohydrates and reducing the concentration of chlorophyll was occurred. The yield components of canola because of irrigation disruption decreased which leads to lower grain and rapeseed oil yield. The results showed that in normal irrigation, the highest seed yield (5168 kg.ha^{-1}) oil yield (2244 kg.ha^{-1}) and water use efficiency (0.99 %) were related to R15 line but in water holding condition the Nima cultivar obtained the highest achievements. In complete irrigation, foliar application of the two micro elements increased the traits studied. Most of the seed oil yield (1728 kg.ha^{-1}), the weight of one thousand seeds (3.21 g), biological yield (15675 kg.ha^{-1}) and water use efficiency were related to the main effect of zinc sulfate and Mn sulfate combination. Spraying plants with zinc sulfate and Mn sulfate improved plant height and increased oil content in drought stress condition in relation to spray by water (control). Among cultivars, Nima cv. had better outperformed relative to KS7 and R15 in normal irrigation. In water holding treatment, two cultivars R15 and Nima narrowly to each other had better outperformed relative to KS7. Non significant interaction effects of foliar application and cultivars for seed and oil yield indicated that all cultivars had similar trend. Drought not only causes dramatic loss of pigments but also leads to disorganization of thylakoid

1- Ph.D. Candidate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Professor of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
5- Assistant Proffessor, Genetics and Agricultural Biotecechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: Tahmaseb@modare.ac.ir)

membrane, therefore reduction in chlorophyll contents is expected. The water holding condition in late season may influence plant growth that can be attributed to the lose yield components.

Conclusions

Correlation between drought situation and yield components in all cultivars, identify the most suitable indicators for monitoring drought tolerance cultivars. According to these results, R15 can be recommended for semiarid regions due to maximum seed and oil yield among and non stress condition. In water deficit condition R15 can be recommended for semiarid regions due to maximum seed and oil yield among and non stress condition.

Keywords: Micro Nutrition, Water deficit, Water use efficiency, Yield and component yield